Advies "Bemesting met zwavelhoudende meststoffen"

Commissie Deskundigen Meststoffenwet (CDM)

9 oktober 2014

Inleiding

Zwavel is een essentieel element voor gewasgroei en speelt een belangrijke rol bij de ontwikkeling en groei van landbouwgewassen. Door een almaar dalende zwaveldepositie is voor veel gewassen sinds een jaar of tien zwavelbemesting nodig. Daarvoor zijn naast dierlijke mest verschillende (speciaal daarvoor ontwikkelde) minerale meststoffen beschikbaar. Tegelijk komen er meer zwavelhoudende afval- en reststoffen beschikbaar die als meststof of bodemverbeterend middel mogen worden toegepast. Dit is het gevolg van:

- Toepassing van zwavelzuur in luchtwassers hetgeen leidt tot zwavelhoudend spuiwater.
- Het verwijderen van verzurend zwaveldioxide bij energiecentrales en bij installaties met verbrandingsprocessen. Dit leidt tot sulfaathoudend rookgasgips dat deels wordt gebruikt in jonge polders als bodemverbeterend middel.
- De beoogde toediening van zwavelzuur aan mest om de ammoniakemissie uit de stal en na toedienen te verminderen.

Er zijn hierdoor drie – potentieel – nieuwe en extra aanvoerposten van sulfaat op de zwavelbalans van landbouwgronden in Nederland ontstaan. Het risico van sulfaatuitspoeling naar grond- en oppervlaktewater neemt daardoor toe.

In een rapport van Ehlert en Chardon (2014)[1] zijn antwoorden gegeven op enkele vragen van het ministerie van Economische Zaken (EZ) over zwavelbemesting van gewassen en mogelijke milieurisico's van verhoogde zwavelgiften. Naar aanleiding van dit rapport vraagt het ministerie van EZ de Commissie van Deskundigen Meststoffenwet advies over de volgende vraag:

Welke risico's kleven er aan bemesting met zwavelhoudende (mest)stoffen als gevolg van het gebruik van deze stoffen voor vermindering van de emissie van ammoniak, fijn stof en/of geur dan wel voor bodemverbetering, en wat zou er gedaan kunnen worden ter voorkoming van overbemesting met deze (mest)stoffen?

De specifieke vragen die het ministerie van EZ hierbij stelt, zijn:

1. *Hoe groot is de kans dat zich problemen voordoen met de gevaren die er kleven aan een toenemend gebruik van meer zwavelhoudende (mest)stoffen, kortom wat is het risico van dit gebruik?*
2. *Is het nodig om regels te stellen aan de toediening van zwavelhoudende (mest)stoffen op gras- of bouwland? Wat is hiervoor de onderbouwing?*
3. *Zo ja, aan welke regels kan gedacht worden (zowel verplichtend als niet verplichtend) en wat zijn hier de voor- en nadelen van?*
4. *Welke alternatieve handelingsopties hebben ondernemers om de genoemde problemen met ammoniakemissie en bodemgesteldheid het hoofd te bieden indien er regels gesteld zouden worden aan het toedienen van zwavelhoudende (mest)stoffen op gras- of bouwland?*

In een toelichting op de vragen aan de CDM heeft het ministerie van EZ aangegeven dat de gestelde vragen gaan over de mogelijke milieurisico's bij bemesting met zwavelhoudende meststoffen aan landbouwgronden. Risico's bij het ontstaan van de zwavelhoudende meststof, zoals het risico op vorming van het toxische H_2S uit sulfaat dat aan mest is toegediend, of risico's bij transport en gebruik van hoog geconcentreerd zwavelzuur op het landbouwbedrijf worden niet meegenomen in dit advies. Landbouwkundig gezien kan een overdosis aan zwavel in de bodem leiden tot een lagere opname van micronutriënten door het gewas. Bovendien verlaagt een relatief hoog zwavelgehalte in het rantsoen de resorptie van micronutriënten uit het maag-darmkanaal bij rundvee. Deze landbouwkundige aspecten van hoge zwaveldoseringen worden ook niet beschouwd in dit advies.

---

[1] Ehlert, P.A.I. en W.J. Chardon (2014) Veranderingen van de zwavelbalans van de Nederlandse bodem. Beantwoording van een helpdeskvraag. Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Research centre), Alterra-rapport 2516. 48 blz

De CDM heeft een ad-hoc werkgroep met experts van verschillende instellingen ingesteld om de vragen van het ministerie van EZ te beantwoorden. De werkgroep bestaat uit Sandra Boekhold (Technische Commissie Bodem), Dico Fraters (RIVM), Wim Bussink (NMI), Phillip Ehlert (Alterra, Wageningen UR) en Gerard Velthof (secretaris CDM).

Risico's van gebruik zwavelhoudende (mest)stoffen

De belangrijkste conclusies met betrekking tot het gebruik van zwavelhoudende meststoffen zijn (zie bijlage 1):

- Een hogere zwavelaanvoer via meststoffen aan de bodem dan zwavelafvoer met (oogst)producten, leidt tot hogere sulfaatuitspoeling naar grond- en oppervlaktewater.

- Uitgespoeld sulfaat kan onder zuurstofloze omstandigheden worden omgezet tot sulfide. Sulfide is giftig voor waterplanten en andere (aquatische) organismen. Sulfide kan binden aan ijzer(hydr)oxiden, waarbij fosfaat kan vrijkomen. Het vrijgekomen fosfaat kan leiden tot eutrofiëring van oppervlaktewater.

- In de klei- en veenregio's zijn de sulfaatconcentraties in grond- en oppervlaktewater veelvuldig hoger dan de milieukwaliteitsnormen. De sulfaatconcentratie van water in deze regio's wordt beïnvloed door mariene afzettingen en veenafbraak. Er kunnen geen uitspraken worden gedaan over trends in sulfaatconcentraties in de klei- en veenregio's.

- De sulfaatconcentraties in water van de zand- en lössregio's zijn meestal lager dan de milieukwaliteitsnormen. In de zandregio is de sulfaatconcentratie in het bovenste grondwater in de afgelopen 20-25 jaar gedaald. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de afname van emissies en depositie van zwavel in deze periode.

- Het is niet bekend welk deel van het sulfaat in grond- en oppervlaktewater afkomstig is van de landbouw in de verschillende regio's. Dit is niet onderzocht in het kader van dit advies.

- Sulfaatuitspoeling kan leiden tot stijging van sulfaatconcentraties in grond- en oppervlaktewater. De mogelijke stijging van sulfaatconcentraties door extra zwavelaanvoer via sulfaathoudende mest- en reststoffen zal eerder waar te nemen zijn in regio's met relatief lage sulfaatconcentraties (de zand- en lössregio's) dan in de regio's met hogere sulfaatconcentraties (de veen- en kleiregio's).

- De sulfaataanvoer naar landbouwgronden zal sterk toenemen indien het aanzuren van mest met zwavelzuur als emissiearme techniek wordt toegestaan en op grote schaal wordt toegepast. Dit wordt veroorzaakt doordat i) er een hoge sulfaataanvoer optreedt per eenheid areaal bij bemesting met aangezuurde mest volgens de stikstof- en fosfaatgebruiksnormen, ii) het areaal landbouwgrond waarin aangezuurde mest zou kunnen worden toegediend groot is, en iii) aangezuurde mest jaarlijks zal worden toegediend. Het is afhankelijk van het ammoniakbeleid en de toepassing van andere emissiereducerende maatregelen of met zwavelzuur aangezuurde mest daadwerkelijk op grote schaal zal worden toegepast.

- Het toedienen aan de bodem van spuiwater met zwavelzuur uit luchtwassers lijkt vooralsnog niet tot een sterke verhoging van de uitspoeling van sulfaat te leiden. In gebieden met intensieve veehouderij, veelal op zandgrond, kan toediening van spuiwater met zwavelzuur lokaal leiden tot een hoge sulfaatuitspoeling.

- Gips wordt vooral toegepast in jonge polders voor bodemverbetering. Dit wordt één keer per rotatie of meerdere rotaties toegepast en dus niet jaarlijks. De sulfaatuitspoeling naar het oppervlaktewater kan hierdoor lokaal sterk toenemen.

Noodzaak voor regels aan toediening van zwavelhoudende (mest)stoffen op gras- of bouwland?

Hoge giften aan sulfaat leiden tot meer sulfaatuitspoeling, waardoor de sulfaatconcentraties in grond- en oppervlaktewater kunnen toenemen (zie bijlage 1). Dit geldt met name voor de zand- en lössregio's; daar liggen de sulfaatconcentraties in grond- en oppervlaktewateren nu onder de

milieukwaliteitsnormen. Onder zuurstofloze omstandigheden kunnen problemen ontstaan met uit sulfaat gevormd sulfide. De Kaderrichtlijnwater en Grondwaterrichtlijn gaan uit van het "stand-still principe" (behalen en behouden van een goede toestand van de grondwaterlichamen) en een ombuiging van significant stijgende trends. Het op grote schaal toepassen van zwavelhoudende afval- of reststoffen die als meststof mogen worden toegepast, kan leiden tot een ongewenste stijging van de sulfaatconcentratie in het grondwater en het oppervlaktewater. De CDM-werkgroep adviseert om regels te stellen om te voorkomen dat de sulfaatconcentratie in grond- en oppervlaktewaterwater significant stijgen als gevolg van het overdosering van sulfaat via mest- en reststoffen.

<u>Mogelijke regels en hun voor- en nadelen</u>

De voorlichting over de mogelijke gevolgen van het gebruik van zwavelhoudende afval- en reststoffen die als meststof of bodemverbeterende middel mogen worden toegepast is momenteel beperkt. Daardoor is de praktijk zich vaak onvoldoende bewust van de risico's van het gebruik van zwavelhoudende reststoffen. Veelal worden ook al zwavelhoudende minerale meststoffen en dierlijke mest toegepast. Meer voorlichting over het gebruik van zwavelhoudende rest- en meststoffen is derhalve belangrijk.

Via regelgeving kan het risico op verhoogde sulfaatuitspoeling worden beperkt via i) een verbod op het gebruik van bepaalde zwavelhoudende afval- of reststoffen die toegelaten zijn als meststof, ii) het instellen van maximale zwavelgiften en iii) het opstellen van zwavelbalansen waarbij het verschil tussen aanvoer en afvoer wordt begrensd. Deze mogelijkheden worden hieronder kort toegelicht.

Een verbod op het gebruik van met zwavelzuur aangezuurde mest, spuiwater en/of gips is een effectieve maatregel om sulfaatuitspoeling te beperken, omdat het overdosering van zwavel voorkomt. De maatregel is goed handhaafbaar met beperkte administratielast. De voor- en nadelen van een verbod zijn (zie bijlage 1):

- Gebruik van met zwavelzuur aangezuurde mest is op dit moment nog niet toegestaan als emissiearme toedieningstechniek, zodat het niet opnemen van deze techniek in de bijlage bij de Regeling ammoniak en veehouderij nog geen gevolgen heeft voor de huidige landbouwpraktijk.
- Een verbod op landbouwkundig gebruik van sulfaathoudend spuiwater uit een luchtwasser zal er toe leiden dat er een andere type luchtwasser of zuur moet worden toegepast of dat er een andere toepassing van spuiwater moet worden gevonden. Dit leidt tot een verhoging van kosten voor de praktijk, omdat er nieuwe investeringen in luchtwassers moeten worden gedaan en/of andere afzetkanalen voor spuiwater moeten worden gevonden.
- Een generiek verbod op het gebruik van gips als bodemverbeteraar in de landbouw is niet mogelijk. Gips is een EG-meststof en kan als zodanig vrij verhandeld en gebruikt worden. Een gipshoudende afvalstof, zoals rookgasreinigingsgips, kan (nog) wel uitgesloten worden van vrije verhandeling. Een verbod op het gebruik van rookgasreinigingsgips zal ertoe leiden dat boeren andere producten/methoden voor bodemverbetering moeten gaan gebruiken indien de bodemstructuur slecht is. Door een ander bodembeheer kan verslechtering van de bodemstructuur deels worden voorkomen of verminderd. Daarnaast zal een andere toepassing voor het rookgasreinigingsgips moeten worden gevonden.

Het invoeren van maximale zwavelgiften voor totaal zwavel of voor individuele zwavelbronnen is een andere maatregel om overdosering met zwavel te voorkomen. De controle en handhaving vragen aandacht (vergelijkbaar met die voor stikstof- en fosfaatgebruiksnormen) en de administratieve lasten voor boeren zullen stijgen. Maximale giften van individuele bronnen (gips, spuiwater en/of aangezuurde mest) vragen weliswaar minder administratie, maar ook bij dergelijke normen moet de aanvoer van zwavelhoudende producten worden geregistreerd.

Zwavelbalansen in combinatie met een maximaal te stellen zwaveloverschot per ha landbouwgrond kunnen ook overdosering met zwavel voorkomen. De controle en handhaving vragen aandacht, vergelijkbaar met die voor stikstof en fosfaat bij het mineralenaangiftesysteem MINAS. De administratieve lasten voor bedrijven zullen stijgen. Bij zwavelbalansen moeten de aan- en afvoer van zwavel worden berekend en/of geregistreerd.

Opties voor reductie van ammoniakemissie

Er zijn verschillende opties om ammoniakemissie te beperken via structurele maatregelen in de landbouw (zoals reductie in dieraantallen), managementmaatregelen en technische maatregelen. Door de veevoeding verder te verfijnen (bijvoorbeeld minder eiwit in het voer of toevoeging van specifieke aminozuren) is een daling van de ammoniakemissie uit stal en opslag mogelijk. Door aanpassingen van stalvloeren (snelle afvoer van mest) kan de emissies uit stallen worden verminderd. Door mestinjectie of andere emissiearme techniek kan de emissie bij toediening worden beperkt. Ook aanzuren van mest is een optie om ammoniakemissie bij mesttoediening te beperken. Op dit moment zijn enkele nieuwe of aangepaste mesttoedieningstechnieken in onderzoek of doorlopen een haalbaarheidstraject, zoals het in één werkgang toedienen van mest en water en het sproeien van zuur of koolzaadolie over mest tijdens het toedienen. Van deze nieuwe of aangepaste technieken is de verwachting dat de reductie van ammoniakemissie die gerealiseerd kan worden, lager is dan de reductie die kan worden verkregen met aanzuren van mest.

Voor het aanzuren van mest is het gebruik van zwavelzuur economisch het meest interessant. Zoutzuur, salpeterzuur en fosforzuur zijn om verschillende redenen niet aantrekkelijk als vervanger voor zwavelzuur voor het aanzuren van mest in stallen (onder andere omdat ze corrosiever zijn dan zwavelzuur; zie bijlage 1). Toepassen van fosforzuur vergroot het fosfaatoverschot op veebedrijven in Nederland. Salpeterzuur en zoutzuur zouden mogelijk wel kunnen worden gebruikt bij het uitrijden van mest. Salpeterzuur is echter 2 tot 7 keer zo duur als zwavelzuur. Daar staat tegenover dat de stikstof aangevoerd met salpeterzuur ingerekend kan worden als besparing op de kunstmestgift. De nettoprijs van salpeterzuur benadert daarmee de brutoprijs van zwavelzuur. De lachgasemissie uit met salpeterzuur aangezuurde mest is hoger dan die uit onbehandelde en met zwavelzuur aangezuurde mest. Zoutzuur is een factor 7 goedkoper dan zwavelzuur, maar zoutzuur is sterk corrosief en gebruik van zoutzuur leidt tot hoge chloridegehalten in mest, dat schadelijk kan zijn voor gewassen.

Van de organische zuren zijn melkzuur, azijnzuur, citroenzuur en oxaalzuur het meest interessant. Citroenzuur en oxaalzuur moeten echter eerst opgelost worden in water; hiervan is een groot volume nodig. Van azijnzuur en melkzuur is een minder groot volume nodig, maar de kostprijs van deze zuren is het 10- tot-15-voudige van zwavelzuur. Anorganische en organische zuren komen als afval- of reststof vrij bij diverse processen in de industrie. Hergebruik van deze reststoffen bij reductie van ammoniakemissie is denkbaar omdat de kosten lager zijn dan die van de eerder genoemde zuren met een technisch-chemische kwaliteit. Deze afval- of restzuren moeten eerst worden getoetst op milieubezwaarlijkheid (gehalte aan zware metalen en organische verontreinigingen) voordat ze toegepast kunnen worden om mest aan te zuren.

Biologisch aanzuren van mest is nog in ontwikkeling.

Opties voor bodemverbetering

Als alternatief voor het gebruik van gips voor correctie van een als slecht beoordeelde bodemstructuur komt vooral (het duurdere) brandkalk naar voren (zie bijlage 1). Het incidenteel gebruik van brandkalk om de bodemstructuur op orde te brengen (voor zover dit aan calcium is gerelateerd) zou gecombineerd moeten worden met de keuze van frequent gebruik van calciumhoudende meststoffen, inzet van organische meststoffen, aangepaste gewaskeuze binnen de rotatie en meer aandacht voor effecten op bodemstructuur bij gebruik van machines op percelen (zoals het rekening houden met weersomstandigheden).

Advies

De CDM-werkgroep adviseert om:

- Meer voorlichting te geven over landbouwkundige en milieukundige aspecten van het gebruik van zwavelhoudende afval- of reststoffen die toegelaten zijn als meststof of bodemverbeterend middel. De landbouw is zich vaak nog onvoldoende bewust van de risico's van een te hoge aanvoer van zwavel.
- Versterkt in te zetten op andere opties dan het aanzuren van mest met zwavelzuur voor de beperking van ammoniakemissie.
- In te zetten op een aangepast bodembeheer met andere meststoffen dan gips voor het verbeteren van de bodemstructuur.

- Regelgeving in te voeren gebaseerd op maximale zwavelgiften indien aanzuren van mest als emissiearme techniek wordt aangewezen. De CDM heeft de hoogte van de maximale zwavelgiften niet verder uitgewerkt. Deze zouden mogelijk gedifferentieerd kunnen worden naar grondsoort of regio.
- Het regelmatig evalueren van trends van sulfaatconcentraties in grond- en oppervlaktewater en het gebruik van zwavelhoudende mest- en reststoffen, zodat stijgende sulfaatconcentraties kunnen worden waargenomen en tijdig maatregelen kunnen worden getroffen. Gedacht kan worden om zwavel als onderdeel op te nemen in de evaluaties van het mestbeleid.

Bijlage 1

Achtergrond

Een van de uitdagingen van de intensieve veehouderij is om emissies van ammoniak, fijn stof en geur verder te reduceren. Een mogelijke maatregel is om de ammoniakemissie uit stallen te beheersen door toepassing van (gecombineerde) chemische luchtwassers. Een tweede mogelijke maatregel is het aanzuren van dierlijke mest bij opslag en/of bij uitrijden. Bij beide maatregelen kan zwavelzuur worden gebruikt om ammoniak af te vangen. Bij energiecentrales en bij installaties met verbrandingsprocessen wordt luchtreiniging toegepast. Een onderdeel van deze luchtreiniging is het verwijderen van verzurend SO_2, waarbij gips (calciumsulfaat) ontstaat.

Bij het gebruik van zwavelzuur om ammoniakemissie uit de veehouderij te beperken en bij rookgasreiniging in energiecentrales ontstaan reststromen die sulfaat bevatten. Deze reststromen worden aangemerkt als meststoffen of als bodemverbeterende middelen[2] en kunnen als zodanig worden hergebruikt mits aangewezen in bijlage Aa van de Uitvoeringsregeling Meststoffenwet. Het ammoniumsulfaatbevattende spuiwater dat in (gecombineerde) chemische luchtwassers ontstaat, kan als meststof op landbouwgrond worden gebracht. Ook wordt beoogd met zwavelzuur aangezuurde mest aan landbouwgrond toe te dienen. In jonge polders wordt calciumsulfaat of gips (vaak rookgasgips) als bodemverbeterend middel toegepast. Er zijn er dus twee nieuwe aanvoerposten van sulfaat op de zwavelbalans van de bodem en mogelijk drie als aanzuren van dierlijke mest als emissiearme toedieningstechniek wordt aangemerkt. De hoeveelheid toegediende zwavel aan de bodem kan hierdoor fors hoger worden dan de zwavelbehoefte van het gewas.

Ehlert en Chardon[3] hebben begin 2014 een rapport opgeleverd waarin antwoorden worden gegeven op vragen van het ministerie van Economische Zaken (EZ) over zwavelbemesting van gewassen en mogelijke milieurisico's van verhoogde zwavelgiften. Zwavel is een essentieel element voor gewasgroei en speelt een belangrijke rol bij de ontwikkeling en groei van landbouwgewassen. Door een almaar dalende zwaveldepositie is voor veel gewassen sinds een jaar of tien zwavelbemesting nodig. Daarvoor zijn naast dierlijke mest verschillende (speciaal daarvoor ontwikkelde) minerale meststoffen beschikbaar. Tegelijk komen er meer zwavelhoudende meststoffen en restproducten beschikbaar voor de landbouw.

De zwavel die niet door het gewas kan worden opgenomen en niet door landbouwgronden wordt vastgehouden, spoelt als sulfaat uit naar oppervlakte- en/of grondwater. In het rapport van Ehlert en Chardon (2014) wordt aangegeven dat er geen wettelijke normen zijn voor zwavelvrachten naar bodems. Er is een richtwaarde voor het sulfaatconcentratie in grondwater en er is een maximaal toelaatbaar risico (MTR) waarde voor het sulfaatconcentratie in oppervlaktewater bestemd voor de productie van drinkwater. Als aangenomen wordt dat de sulfaatconcentratie van uit de bouwvoor uitspoelend of afspoelend bodemvocht de richtwaarde of de MTR-waarde niet mag overschrijden, dan mag niet meer dan respectievelijk 450 kg sulfaat ha^{-1} (richtwaarde grondwater) en 300 kg sulfaat ha^{-1} (richtwaarde drinkwater) toegediend worden (Ehlert en Chardon, 2014). Met zwavelzuur aangezuurde dierlijke mest leidt bij gangbaar landbouwkundig gebruik tot sulfaatvrachten variërend van 200 tot 600 kg sulfaat ha^{-1}. Het gebruik van gips leidt bij gangbaar landbouwkundig gebruik tot sulfaatvrachten van vele honderden tot enige duizenden kg sulfaat per ha. Het toedienen aan de bodem van spuiwater met zwavelzuur uit luchtwassers lijkt vooralsnog niet tot een sterke verhoging van het risico op sulfaatuitspoeling te leiden. In de intensieve veehouderijen kan het gebruik van luchtwassers met zwavelzuur, waarbij het spuiwater op een klein areaal landbouwgrond wordt toegediend, de bodembelasting met zwavel doen toenemen met gemiddeld 6 à 7 kg sulfaat ha^{-1} gerekend naar het totale areaal cultuurland of 32 kg sulfaat ha^{-1} gerekend naar het areaal zandgrond waar de luchtwassers staan. Of deze extra sulfaataanvoer met spuiwater leidt tot een meetbare sulfaatuitspoeling, is afhankelijk van het gebruik van andere zwavelhoudende bronnen als dierlijke mest, minerale meststoffen en bodemverbeterende middelen. Ehlert en Chardon (2014) geven aan dat de verdeling van de zwavelaanvoer naar de bodem afhankelijk is van het landbouwbedrijf, landgebruik (grasland, bouwland) en regio. Daardoor zullen er verschillen bestaan tussen de zwavelbalansen van uiteenlopende bedrijfsvormen.

---

[2] Bodemverbeterende middelen ressorteren onder de definitie van meststof van de Meststoffenwet.

[3] Ehlert, P.A.I. en W.J. Chardon (2014) Veranderingen van de zwavelbalans van de Nederlandse bodem. Beantwoording van een helpdeskvraag. Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Research centre), Alterra-rapport 2516. 48 blz.

Naar aanleiding van de studie van Ehlert en Chardon (2014) vraagt het ministerie van EZ de Commissie Deskundigen Meststoffenwet (CDM) om een advies uit te brengen over mogelijke risico's van overbemesting met zwavelhoudende meststoffen. EZ wil aan de hand van dit advies nagaan welke aanpak er nodig is.

Recentelijk zijn er Kamervragen gesteld over het voorkomen van relatief hoge concentraties van H_2S in opgepompt grondwater in Deurne[4]. Een expert panel kon geen eenduidige oorzaak van de hoge concentraties H_2S-gas in de bodem vaststellen. Vermoedelijk is het een combinatie van factoren die leidt tot een verhoging van de sulfaatconcentraties in het grondwater, zoals zwaveluitstoot door kolengestookte energiecentrales in de jaren '50 tot '70, bemesting van landbouwgronden met dierlijke mest en kunstmest, oxidatie van zwavelhoudende bodemlagen door verlaging van de grondwaterstand en afbraak van pyriet in de ondergrond door uitgespoeld nitraat[5]. Het advies van CDM betreft de risico's van extra sulfaataanvoer naar landbouwgronden door spuiwater, aangezuurde mest en gips en gaat niet in op mogelijke oorzaken van de verhoging van H_2S concentraties in het grondwater in Deurne.

Verzoek om advies

Het ministerie van EZ vraagt de CDM advies over de volgende vraag:

Welke risico's kleven er aan bemesting met zwavelhoudende (mest)stoffen als gevolg van het gebruik van deze stoffen voor vermindering van de emissie van ammoniak, fijn stof en/of geur dan wel voor bodemverbetering, en wat zou er gedaan kunnen worden ter voorkoming van overbemesting met deze (mest)stoffen?

De specifieke vragen die het ministerie van EZ hierbij stelt, zijn:

1. Hoe groot is de kans dat zich problemen voordoen met de gevaren die er kleven aan een toenemend gebruik van meer zwavelhoudende (mest)stoffen, kortom wat is het risico van dit gebruik?
2. Is het nodig om regels te stellen aan de toediening van zwavelhoudende (mest)stoffen op gras- of bouwland? Wat is hiervoor de onderbouwing?
3. Zo ja, aan welke regels kan gedacht worden (zowel verplichtend als niet verplichtend) en wat zijn hier de voor- en nadelen van?
4. Welke alternatieve handelingsopties hebben ondernemers om de genoemde problemen met ammoniakemissie en bodemgesteldheid het hoofd te bieden indien er regels gesteld zouden worden aan het toedienen van zwavelhoudende (mest)stoffen op gras- of bouwland?

Werkgroep

De CDM heeft een ad-hoc werkgroep van experts van diverse instellingen ingesteld om de vragen van het ministerie van EZ te beantwoorden. De werkgroep bestaat uit Sandra Boekhold (Technische Commissie Bodem), Dico Fraters (RIVM), Wim Bussink (NMI), Phillip Ehlert (Alterra, Wageningen UR) en Gerard Velthof (secretaris CDM).

---

[4] 2014Z10395. Tweede Kamer der Staten-Generaal. Vergaderjaar 2013–2014 Vragen gesteld door de leden der Kamer

[5] http://www.aaenmaas.nl/loket_0/waterschapsloket/nieuws/@217888/onderzoek/

1. Risico's van gebruik zwavelhoudende (mest)stoffen

Vraag van het ministerie van EZ: Hoe groot is de kans dat zich problemen voordoen met de gevaren die er kleven aan een toenemend gebruik van meer zwavelhoudende (mest)stoffen, kortom wat is het risico van dit gebruik?

Milieurisico's
Bij de risicobeoordelingen in het kader van de Meststoffenwet wordt in het algemeen het risico op schade aan mens, dier, milieu en gewas beoordeeld. In een toelichting op de vragen aan de CDM heeft het ministerie van EZ aangegeven dat de gestelde vragen gaan over de mogelijke milieurisico's bij bemesting met zwavelhoudende meststoffen aan landbouwgronden. Risico's bij het ontstaan van de zwavelhoudende meststof, zoals het risico op vorming van het toxische H_2S uit sulfaat dat aan mest is toegediend, of risico's bij transport en gebruik van hoog geconcentreerd zwavelzuur op het landbouwbedrijf worden niet meegenomen in dit advies. Landbouwkundig gezien kan een overdosis aan zwavel leiden tot een lagere opname van micro-nutriënten door het gewas. Bovendien verlaagt een relatief hoog zwavelgehalte in het rantsoen de resorptie van micro-nutriënten uit het maag-darmkanaal bij rundvee. Deze landbouwkundige aspecten van hoge zwaveldoseringen worden ook niet beschouwd in dit advies.

Ehlert en Chardon (2014) geven aan dat een hogere dosering van zwavel aan de bodem dan het gewas kan opnemen, leidt tot een verhoogde uitspoeling van sulfaat naar grond- en oppervlaktewater. Directe toxische en andere effecten van sulfaat voor biota in oppervlakte- of grondwater zijn niet bekend. Sulfaat kan van chemische aard veranderen. Onder zuurstofloze omstandigheden wordt sulfaat omgezet tot sulfide. Sulfide is bij lage concentraties giftig voor waterplanten en andere (aquatische) organismen. Hoge sulfaatconcentraties zijn ook ongewenst bij gebruik van grond- en oppervlaktewater als drinkwater. Bij de drinkwaterregeling[6] behoort sulfaat tot de organoleptische/esthetische parameters. Er zijn geen wettelijke normen voor sulfaat in grond- en oppervlaktewater, maar er is wel een richtwaarde voor grondwater (150 mg SO_4 L^{-1}) en MTR-waarde voor oppervlaktewater (100 mg SO_4 L^{-1}).

Een verhoogde sulfaatconcentratie in grond- en oppervlaktewater kan leiden tot de volgende problemen:

- Vorming van sulfide in grond- of oppervlaktewater onder zuurstofloze omstandigheden.
    - Sulfide is giftig voor zoetwaterplanten en –insecten. In het landbouwgebied van de Krimpenerwaard zijn aanwijzingen voor het optreden van schadelijke effecten van sulfide[7]. Hierbij wordt opgemerkt in dit gebied het grootste deel van het sulfaat afkomstig is uit de veenbodem zelf.
    - Sulfide kan binden aan ijzer(hydr)oxiden, waarbij fosfaat kan vrijkomen (desorptieproces). Het vrijkomen van fosfaat kan leiden tot eutrofiëring van oppervlaktewater. Het proces van vrijkomen van fosfaat door sulfaat heet interne eutrofiëring.
- Overschrijding van de milieukwaliteitsnormen voor sulfaat in grondwater en oppervlaktewater. Dit risico geldt met name voor zand- en lössgronden, waar de sulfaatconcentraties meesta lager zijn dan de richtwaarde voor grondwater en MTR-waarde voor oppervlaktewater. Voor klei- en veengronden zijn de sulfaatconcentraties in grond- en oppervlaktewater veelal hoger dan de MTR-waarde, omdat het water in klei- en veenregio's wordt beïnvloed door mariene afzettingen en afbraak van veen (zie volgende paragraaf).

Sulfaatconcentraties in grond- en oppervlaktewater
Er zijn duidelijke verschillen in sulfaatconcentraties in grond- en oppervlaktewater van landbouwbedrijven tussen regio's en bedrijfstypen (Tabellen 1 en 2 en Bijlage 1; Fraters en De Goffau, 2014[8]). De concentraties zijn lager in de zand- en lössregio's dan in de klei- en veenregio's. Sulfaatconcentraties in de zand- en lössregio zijn meestal lager dan 50 mg/l en bijna altijd lager dan 150 mg/l. In de kleiregio (mediaan is ca. 125 mg/l) en veenregio (mediaan is ca. 150 mg/l) zijn de sulfaatconcentraties van nature hoger (door veenafbraak en mariene afzettingen) met

---

[6] Besluit kwaliteitseisen en monitoring water 2009, bijlage III, tabel 1.

[7] Hendriks, R.F.A., J.W.R. Twisk, L. van Gerven & J. Harmsen (2013) Sulfaat in veenweiden: gebiedsvreemd of gebiedseigen? H2O online first mei 2013.

[8] Fraters, B., De Goffau, A. (2014) Sulfaat in grond- en oppervlaktewater in Nederland. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven, RIVM briefrapport 680716009 (In druk).

uitschieters tot boven de 500 mg/l. In de zandregio wordt de hoogte sulfaatconcentratie gemeten bij bedrijven met hokdieren (Tabel 2).

Verschillen in sulfaatconcentraties tussen watertypen per regio lijken over het algemeen klein en niet significant, met uitzondering van slootwater dat meestal een lagere sulfaatconcentratie heeft dan de andere watertypen.

De sulfaatconcentratie in het grondwater onder landbouwgrond neemt toe met de diepte, met uitzondering in de veenregio waar de concentratie in de watervoerende lagen onder het veenpakket veel lager is dan in het veenpakket (Annex 1). De sulfaatconcentratie in de diepe watervoerende laag onder het kleipakket is iets hoger dan die boven in het kleipakket, echter de ondiepe watervoerende laag heeft juist een duidelijk lager concentratie (Bijlage 1). De reden voor dit verschil is onduidelijk. De toename in concentratie met de diepte in de zandregio, die ook voorkomt onder natuur, weerspiegelt waarschijnlijk de afname van de zwaveldepositie in de tijd (PBL, 2014[9]; Boumans et al., 2012[10]) en de daarmee samenhangende afname van de sulfaatconcentratie in het bovenste grondwater

Er kunnen geen uitspraken worden gedaan over trends in sulfaatconcentraties in de klei- en veenregio's. Hiervoor is een uitgebreidere analyse nodig. De sulfaatconcentraties in water van de zand- en lössregio's zijn meestal lager dan de milieukwaliteitsnormen. In de zandregio is de sulfaatconcentratie in het bovenste grondwater in de afgelopen 20-25 jaar gedaald. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de afname van emissies en depositie van zwavel (Fraters en De Goffau, 2014). Er zou nagegaan moeten worden of er verschillen in sulfaatconcentraties binnen de genoemde grondsoortregio's bestaan en wat de bronnen van sulfaat in grond- en oppervlaktewater zijn. Met name het water in klei- en veenregio's wordt beïnvloed door mariene afzettingen en afbraak van veen. Zo'n analyse is niet uitgevoerd in het kader van dit advies van het CDM over sulfaathoudende meststoffen.

Tabel 1 Sulfaatconcentraties (mg L^{-1} als SO_4) karakteristieken en aantal waarnemingen[1] per regio en watertype[2] (gehele meetperiode). Bron: Fraters en De Goffau (2014).

Regio	wt[2]	25p.	Mediaan	Gemiddeld[3]	75p.	Aantal
Zandregio	bv	23	47	47 ±10	57	19
	dr	36	49	58 ±10	69	274
	gd	34	46	54 ±10	62	1885
	sl	26	41	48 ±10	63	520
Lössregio	bv	25	31	52 ± 6	44	310
	gd	23	31	42 ±15	50	59
Kleiregio	dr	78	126	189 ± 7	213	752
	gd	56	96	194 ±11	226	380
	sl	47	81	127 ± 9	138	1035
Veenregio	gd	67	142	186 ± 7	237	382
	gp	75	169	178 ±22	286	42
	sl	37	62	89 ± 9	103	540

1 Karakteristieken zijn: 25-percentielwaarde (25p; dit is de concentratie waarvoor geldt dat 25% van de waarnemingen een concentratie lager of gelijk heeft aan deze concentratie), mediaan (is 50-percentiel), gemiddelde en 75-percentiel (75p).
Een waarneming is de gemiddelde sulfaatconcentratie van alle individuele monsters per watertype per bedrijf per jaar.

2 Watertypen (wt) zijn: bv = bodemvocht, dr = drainwater, gd = grondwater, gp = greppelwater en sl = slootwater

3 Gemiddelde en standaard fout. Het 95%-betrouwbaarheidsinterval van het gemiddelde is ongeveer gelijk aan het gemiddelde ± 2 * de standaard fout. Voorbeeld, 95%-bthi voor grondwater (gd) in de zandregio is 34-74 mg L^{-1} (54 ± 2 * 10). Aangezien het gemiddelde van alle andere watertypen in de Zand- en Lössregio binnen dit 95%-bthi vallen zijn ze niet significant verschillend.

[9] PBL (2014) Compendium voor de leefomgeving. Verzurende depositie, 1981-2012. Webpagina bezocht 18 augustus 2014, http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl/indicatoren/nl0184-Verzurende-depositie.html?i=14-66.

[10] Boumans, L., Wattel-Koekkoek, E.J.W., van der Swaluw, E. (2012) Veranderingen in regen- en grondwaterkwaliteit als gevolg van atmosferische emissiereducties : Verzuring en vermesting 1989-2010. Bilthoven, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, RIVM rapport 680720005.

Tabel 2 Sulfaatconcentratie[11] (mg L^{-1} als SO_4) in water op landbouwbedrijven per bedrijfstype per regio voor uitspoeling en slootwater in de winter en de zomer; gemiddelde en standaardfout voor de periode 2007-2010 (landbouwpraktijkjaren). Bron: Fraters en De Goffau (2014)

Regio[1]	Watertype	Akkerbouw	Melkvee	Hokdier	Overig dier
Zand	Uitspoeling	48 ±2,4	48 ±2,7	62 ±4,1	52 ±3,4
	Sloot – winter	43 ±3,6	49 ±4,3	87 ±9,7	56 ±6,7
	Sloot – zomer	33 ±4,0	42 ±5,0	82 ± 12	47 ±7,6
Löss	Uitspoeling	45 ±5,4	36 ±7,3	–	43 ±8,6
Klei	Uitspoeling	190 ± 15	146 ± 18	–	111 ± 28
	Sloot – winter	156 ± 13	135 ± 16	–	76 ± 23
	Sloot – zomer	130 ± 11	86 ± 14	–	57± 21
Veen	Uitspoeling	–	178 ± 23	–	–
	Greppel	–	168 ± 22	–	–
	Sloot – winter	–	104 ± 24	–	–
	Sloot – zomer	–	53 ± 24	–	–

1 In de veenregio komen in het basismeetnet alleen melkveebedrijven voor.

Ruimtelijke en temporele schaal van toepassing

Belangrijk bij de beoordeling van risico's op sulfaatuitspoeling is de ruimtelijke schaal en de frequentie waarop de sulfaathoudende meststoffen worden gebruikt. Ehlert en Chardon (2014) ramen op basis van een bodembalans van zwavel dat gemiddeld 13 kg S ha^{-1} als sulfaat[12] uitspoelt uit Nederlandse landbouwgronden in 2013. De variatie in sulfaatuitspoeling zal in de praktijk groot zijn door verschillen in landbouwkundig handelen en samenstelling van meststoffen en dierlijke mest. Hierbij is ook geen rekening gehouden met een preferent gebruik van dierlijke mest in de zandgebieden en afbraak van organisch-gebonden zwavel in dierlijke mest. Daarnaast worden sulfaatconcentraties in grond- en oppervlaktewater ook beïnvloed door zwavel dat reeds in de ondergrond en in sedimenten aanwezig is (mariene afzettingen, veen, pyriet).

Berekeningen van Ehlert en Chardon (2014) laten zien dat de sulfaatvrachten bij giften met zwavelzuur aangezuurde dierlijke mest (toegediend volgens de gebruiksnorm voor dierlijke mest) kunnen leiden tot sulfaatconcentraties in het uit de bouwvoor uitspoelend of afspoelend bodemvocht die hoger zijn dan de richtwaarde voor grondwater en MTR-waarde voor oppervlaktewater. Aangezuurde mest wordt op dit moment nog niet toegepast in Nederland, omdat het geen erkende emissiearme techniek is. Indien aanzuren wordt erkend als een emissiearme techniek dan kan aanzuren mogelijk op grote schaal worden toegepast in Nederland. In het kader van de Programmatische Aanpak Stikstof (PAS) moeten extra maatregelen worden genomen om ammoniakemissie op nationaal niveau te reduceren. Aanzuren van mest is een mogelijke optie om ammoniakemissie verder te reduceren, met name voor de melkveehouderij. In Denemarken is aanzuren van mest toegestaan en op dit moment (seizoen 2013/2014) wordt ongeveer 20 procent van de mest aangezuurd[13]. Aangezuurde mest zal jaarlijks worden toegepast; op bouwland en –maïsland meestal één keer en op grasland op meerdere tijdstippen van het jaar. Het toestaan van aanzuren van mest met zwavelzuur als emissiebeperkende maatregel kan leiden tot een hogere zwavelaanvoer dan afvoer via het geoogst gewas. Hierdoor neemt het risico op sulfaatuitspoeling toe. Indien 10 procent van de dierlijke mest in Nederland wordt aangezuurd, leidt dit tot een gemiddelde extra aanvoer van 34 kg sulfaat ha^{-1} $jaar^{-1}$ aan landbouwgrond in Nederland (= 11,3 kg S ha^{-1} $jaar^{-1}$)[14]. Deze extra aanvoer zal grotendeels uitspoelen, omdat bij de huidige bemesting vaak al meer zwavel wordt toegediend dan door het geoogste gewas afgevoerd (Ehlert en Chardon, 2014). Verdubbeling van dit percentage leidt tot een verdubbeling van de uitspoeling. Regionaal

[11] Zie voetnoot 3, Tabel 1.

[12] Omrekeningsfactor voor S naar SO_4 is 3 (SO_4 = 3 * S).

[13] Skov Jensen, A. 2013. Baltic Manure WP7 Business Innovation Guidelines on: Incentives and Support Mechanisms Stimulating Innovation within Manure Management in Denmark. http://www.balticmanure.eu/en/business_forum/reports/

[14] Aannames in de berekening: alleen dunne mest die in de stal wordt geproduceerd wordt aangezuurd, aangezuurde mest heeft een N/S verhouding van 1,3, stikstofuitscheiding conform CBS-berekeningen voor 2013 en een omvang van het landbouw areaal van 1.847.572 ha.

kan er sprake zijn van een sterkere toename van sulfaatuitspoeling als meer met zwavelzuur aangezuurde mest wordt toegediend.

Het toedienen aan de bodem van spuiwater met zwavelzuur uit luchtwassers lijkt vooralsnog niet tot een sterke verhoging van de uitspoeling van sulfaat te leiden. Bij intensieve veehouderijen met luchtwassers met zwavelzuur waar het spuiwater op een klein areaal landbouwgrond wordt toegediend, kan de bodembelasting met zwavel wel toenemen. Spuiwater zal jaarlijks (en op grasland en bouwland met dubbelteelten meerdere keren per jaar) worden toegediend. Informatie ontbreekt over de opslagcapaciteit van spuiwater. Tevens is niet bekend in hoeverre spuiwater wordt geloosd op bodems in plaats dat het wordt toegepast als stikstofmeststof. Het risico op sulfaatuitspoeling neemt toe bij toenemende giften van spuiwater, maar dit is mede afhankelijk van de bijdrage van andere zwavelhoudende bronnen als dierlijke mest, minerale meststoffen en bodemverbeterende middelen. De risico's op problemen met sulfaatuitspoeling door spuiwater uit luchtwassers beperken zich tot de regionale schaal in de regio met intensieve veehouderijen (dit zijn met name de zandgronden).

Gips wordt vooral toegepast in jonge polders voor bodemverbetering. Dit wordt één keer per rotatie of per meerdere rotaties toegepast en dus niet jaarlijks. Bij deze éénmalige gift tot 10 ton per ha wordt veel zwavel toegediend en zal de sulfaatuitspoeling (afspoeling of uitspoeling via drains) naar het oppervlaktewater sterk toenemen. Het betreft tot nu toe een lokaal probleem in de jonge polders.

Conclusies

- Een zwavelaanvoer via meststoffen aan de bodem die hoger is dan dan zwavelafvoer met (oogst)producten, leidt tot een verhoogd risico op uitspoeling van sulfaat naar grond- en oppervlaktewater.

- Uitgespoeld sulfaat kan worden gereduceerd onder zuurstofloze omstandigheden tot sulfide. Sulfide is giftig voor waterplanten en andere (aquatische) organismen. Sulfide kan binden aan ijzer(hydr)oxiden, waarbij fosfaat kan vrijkomen (interne eutrofiëring).

- In klei- en veenregio's zijn de sulfaatconcentraties in grond- en oppervlaktewater van nature meestal hoger dan de MTR-waarde, omdat het water in deze regio's wordt beïnvloed door mariene afzettingen en veenafbraak. De sulfaatconcentraties in water van zand- en lössregio's zijn meestal lager dan de MTR-waarden.

- Een zwavelaanvoer via meststoffen die veel hoger is dan de zwavelafvoer met (oogst)producten zal leiden tot een stijging van de sulfaatconcentraties in grond- en oppervlaktewater. Die stijging zal waarschijnlijk eerder meetbaar zijn bij de zand- en lössregio's omdat daar de sulfaatconcentraties in grondwater relatief laag zijn. Bij overige regio's is die stijging minder snel waar te nemen vanwege de reeds aanwezig hoge sulfaatconcentraties. In zand- en lössregio's zou een toenemende sulfaatuitspoeling uiteindelijk kunnen resulteren in een overschrijding van de milieukwaliteitsnormen voor sulfaat in grond- en oppervlaktewater.

- De sulfaataanvoer naar landbouwgronden zal sterk toenemen indien het aanzuren van mest met zwavelzuur als emissiearme techniek wordt toegestaan en op grote schaal wordt toegepast. Dit wordt veroorzaakt doordat i) er een hoge sulfaataanvoer optreedt per eenheid areaal bij bemesting met aangezuurde mest volgens de stikstof- en fosfaatgebruiksnormen, ii) het areaal landbouwgrond waarin aangezuurde mest zou kunnen worden toegediend groot is, en iii) aangezuurde mest jaarlijks zal worden toegediend. Het is afhankelijk van het ammoniakbeleid en de toepassing van andere emissiereducerende maatregelen (zie antwoord op vraag 4) of met zwavelzuur aangezuurde mest daadwerkelijk op grote schaal zal worden toegepast.

- Het toedienen aan de bodem van spuiwater met zwavelzuur uit luchtwassers lijkt vooralsnog niet tot een sterke verhoging van de uitspoeling van sulfaat te leiden. De risico's op problemen met sulfaatuitspoeling beperken zich tot de regionale schaal (zandgronden) en zijn kleiner dan die bij aangezuurde mest.

- Gips wordt vooral toegepast in jonge polders voor bodemverbetering. Dit wordt één keer per gewasrotatie of meerdere rotaties toegepast en dus niet jaarlijks. Bij deze éénmalige gift wordt veel zwavel toegediend en zal de sulfaatuitspoeling naar het oppervlaktewater sterk toenemen.

<u>2. Noodzaak voor regels aan toediening van zwavelhoudende (mest)stoffen?</u>

<u>Vraag van het ministerie van EZ</u>: Is het nodig om regels te stellen aan de toediening van zwavelhoudende (mest)stoffen op gras- of bouwland? Wat is hiervoor de onderbouwing?

Hoge giften aan sulfaat kunnen leiden tot sulfaatuitspoeling, waardoor de sulfaatconcentraties in grond- en oppervlaktewater kunnen toenemen. Dit geldt met name voor de zand- en lössregio's, aangezien daar de sulfaatconcentraties in grond- en oppervlaktewateren nu gemiddeld onder milieukwaliteitsnormen voor het gebruik als drinkwater liggen. Onder zuurstofloze omstandigheden kunnen problemen ontstaan met uit sulfaat gevormd sulfide. De Kaderrichtlijnwater en Grondwaterrichtlijn gaan uit van het "stand-still principe" (behalen en behouden van een goede toestand van de grondwaterlichamen) en een ombuiging van significant stijgende trends. Het op grote schaal toepassen van zwavelhoudende (mest)stoffen kan leiden tot een ongewenste stijging van de sulfaatconcentratie. De CDM-werkgroep adviseert om regels te stellen om te voorkomen dat de sulfaatconcentratie in grond- en oppervlaktewaterwater significant stijgen als gevolg van het overdosering van sulfaat via mest- en reststoffen.

<u>3. Soort regels aan toediening van zwavelhoudende (mest)stoffen</u>

<u>Vraag van het ministerie van EZ</u>: Zo ja, aan welke regels kan gedacht worden (zowel verplichtend als niet verplichtend) en wat zijn hier de voor- en nadelen van?

Er zijn verschillende soorten regels mogelijk waarmee kan worden voorkomen dat er een stijging van sulfaatuitspoeling optreedt bij toepassing van sulfaathoudende meststoffen aan landbouwpercelen, namelijk

- Een verbod op het gebruik van bepaalde zwavelhoudende mest- en reststoffen, zoals met zwavelzuur aangezuurde mest, spuiwater en gips.

- Het instellen van maximale giften aan zwavel voor het totaal van alle zwavelbronnen of voor specifieke zwavelbronnen (bijvoorbeeld normen voor de maximale giften van met zwavelzuur aangezuurde mest, spuiwater en gips).

- Het opstellen van zwavelbalansen waarin de zwavelaanvoer via meststoffen, atmosferische depositie en eventueel andere bronnen en de zwavelafvoer via geoogst gewas (incl. beweiding) worden berekend. Het verschil tussen aanvoer en afvoer kan worden begrensd.

Verbod op het gebruik van bepaalde zwavelhoudende meststoffen
Het verbod op het gebruik van met zwavelzuur aangezuurde mest, spuiwater en/of gips is een effectieve maatregel, omdat het overdosering van zwavel voorkomt. De maatregel is verplichtend, goed handhaafbaar met beperkte administratielast. De voor- en nadelen van een verbod verschillen per product:

- Gebruik van met zwavelzuur aangezuurde mest is op dit moment nog niet toegestaan als emissiearme toedieningstechniek, zodat het niet opnemen van aanzuren als emissiearme techniek in de bijlage bij de Regeling ammoniak en veehouderij nog geen gevolgen heeft voor de huidige landbouwpraktijk. Er zijn alternatieven in ontwikkeling om ammoniakemissie bij mesttoediening te beperken (zie vraag 4).

- Een verbod op landbouwkundig gebruik van sulfaathoudend spuiwater uit een chemische luchtwasser of een combi-luchtwasser zal er toe leiden dat er of een andere type (biologische) luchtwasser moet worden toegepast (zie vraag 4). Hierdoor ontstaat er geen sulfaathoudend spuiwater meer en moet er mogelijk een andere toepassing van spuiwater worden gevonden. Gebruik Landbouwkundige toepassing van stikstof dat in luchtwassers is opgevangen is gewenst vanuit oogpunt van het sluiten van de stikstofkringloop. Een verbod leidt dus tot een verhoging van kosten voor de praktijk, omdat er nieuwe investeringen in luchtwassers moeten worden gedaan en/of andere afzetkanalen voor spuiwater moeten worden gevonden.

- Een generiek verbod op het gebruik van gips als bodemverbeteraar in de landbouw is niet mogelijk. Gips is in het kader van de EU-verordening 2003/2003 een EG-meststof en kan als zodanig vrij verhandeld en gebruikt worden. Een gipshoudende afvalstof, zoals rookgasreinigingsgips, kan (nog) wel uitgesloten worden van vrije verhandeling. Een verbod op

het gebruik van rookgasreinigingsgips zal ertoe leiden dat boeren andere producten/methoden voor bodemverbetering gaan gebruiken. Dit kunnen meststoffen bestaande uit gips zijn die het label EG-meststof mogen voeren maar ook kalkmeststoffen. Als gips uit rookgas niet meer gebruikt mag worden als bodemverbeteraar in de landbouw, dan zal een andere toepassing ervoor moeten worden gevonden bijvoorbeeld in de bouwsector.

Maximale zwavelgiften
Het invoeren van maximale zwavelgiften voor totaal zwavel of voor individuele zwavelbronnen is een effectieve maatregel om overdosering met zwavel te voorkomen, maar de controle en handhaving vraagt aandacht (vergelijkbaar met die voor stikstof en fosfaat) en de administratieve lasten voor boeren zullen stijgen. Bij maximale giften voor totaal zwavel dienen alle zwavelposten te worden meegenomen, ook die van minerale meststoffen, onbewerkte mesten, aangevoerd voer en, mogelijk, atmosferische depositie. Het invoeren van maximale zwavelgiften vraagt om een boekhoudsysteem van de verschillende zwavelposten conform die voor stikstof en fosfaat. Voor zo'n systeem is het belangrijk om inzicht te hebben de gehalten aan zwavel en/of sulfaat in de aanvoerposten.

Maximale zwavelgiften gebaseerd op giften van individuele bronnen (gips, spuiwater en/of aangezuurde mest) vragen weliswaar minder administratie, maar ook bij dergelijke normen moet de aanvoer van zwavelhoudende producten worden geregistreerd. Maximale zwavelgiften kunnen worden verfijnd naar grondsoort, gewas, hydrologie, periode (jaren, meerdere jaren) en/of regio.

Zwavelbalansen
Zwavelbalansen zijn een mogelijke maatregel om overdosering met zwavel te voorkomen en sulfaatuitspoeling te minimaliseren. De controle en handhaving vraagt aandacht en is vergelijkbaar met die voor stikstof en fosfaat bij het mineralenaangiftesysteem MINAS. De administratieve lasten voor bedrijven zullen stijgen. Bij zwavelbalansen moeten de aan- en afvoer van zwavel worden berekend en/of geregistreerd. De voor- en nadelen van registratie van zwavelaanvoer met meststoffen staan hierboven bij maximale zwavelgiften genoemd. De aanvoer van zwavel via depositie kan via gegevens van de Emissieregistratie van het RIVM worden verkregen. Voor de afvoer van zwavel via gewassen kan gedacht worden aan eenvoudige forfaitaire waarden (bijvoorbeeld de zwavelafvoer per gewas) of complexere systemen waarin de afvoer wordt berekend uit opbrengsten en zwavelgehalten in het gewas. Zwavelbalansen kunnen worden verfijnd naar grondsoort, gewas, hydrologie, periode (jaren, meerdere jaren) en/of regio.

Maximale zwavelgiften en zwavelbalansen kunnen ook als niet-verplichtend worden ingevoerd, maar het is twijfelachtig of dit een landbouwkundige overdosering met zwavel zal tegenaan. Negatieve effecten op micro-nutriëntenopname door het gewas (gras) en daardoor door het vee kunnen voor de melkveehouderij een argument zijn om overbemesting met zwavelhoudende meststoffen te vermijden.

<u>Conclusie</u>

De CDM-werkgroep adviseert om regels te stellen om te voorkomen dat de sulfaatconcentratie in grond- en oppervlaktewaterwater stijgen als gevolg van het overdosering van zwavel via mest- en reststoffen. Het niet opnemen van het met zwavelzuur aanzuren van dierlijke mest als emissiearme techniek in de bijlage bij de Regeling ammoniak en veehouderij voorkomt dat de zwavelaanvoer landbouwgronden sterk kan toenemen. Ook het verbieden van gebruik van zwavelzuur in luchtwassers is een optie. Met het verbieden van zwavelzuur in luchtwassers en bij aanzuren zijn emissiedoelstellingen voor ammoniak echter lastiger te realiseren. Een verbod op gips is niet mogelijk; het is een toegelaten EG-meststof. Het invoeren van zwavelbalansen brengt hoge administratieve lasten met zich mee. De CDM-werkgroep adviseert om regelgeving in te voeren gebaseerd op maximale zwavelgiften indien aanzuren van mest als emissiearme techniek wordt aangewezen. De CDM heeft de hoogte van de maximale zwavelgiften niet verder uitgewerkt. Deze zouden mogelijk gedifferentieerd kunnen worden naar grondsoort of regio.

4. Alternatieven voor zwavelhoudende (mest)stoffen

<u>Vraag van het ministerie van EZ</u>: Welke alternatieve handelingsopties hebben ondernemers om de genoemde problemen met ammoniakemissie en bodemgesteldheid het hoofd te bieden indien er regels gesteld zouden worden aan het toedienen van zwavelhoudende (mest)stoffen op gras- of bouwland?

4a. ***Verlagen ammoniakemissie door aanzuren***

Algemeen
Aanzuren van mest is een effectieve methode om de ammoniakemissie in stallen en daarmee ook bij uitrijden te verlagen. Op bedrijfsniveaus zijn reducties van 50% en meer mogelijk (Bussink et al., 2012, 2014[15,16]). Aanzuren leidt ook tot een vermindering van de methaanemissie uit de mestopslag (Oenema et al., 1993[17]). Bij aanzuren van mest wordt nu veelal gewerkt met zwavelzuur. Er loopt onderzoek naar het biologisch aanzuren van mest, waarbij veel minder zwavelzuur nodig is (Bussink et al., 2014).

In principe zijn veel zuren geschikt voor het aanzuren van mest (Tabel 3). Daarbij kan onderscheid worden gemaakt in organische zuren en anorganische zuren. Bij de beoordeling op geschiktheid voor toepassing om mest aan te zuren zijn verschillende criteria van belang, zoals de effectiviteit/sterkte van het zuur, veiligheidsaspecten bij de toepassing, positieve of negatieve neveneffecten, de geconcentreerdheid van het zuur en de prijs.

Het aanzuren van mest kan leiden tot schuimvorming door CO_2-ontwikkeling. Dit kan optreden tijdens het opstarten van het systeem (bij het vullen van de lege opslag met mest) en indien mest wordt aangezuurd vlak voor (in de opslag) of tijdens het aanwenden van mest. Schuimvorming is beheersbaar als de mest direct bij vullen van een mestopslag wordt aangezuurd. Om schuimvorming te beheersen kunnen antischuimmiddelen gebruikt worden, zoals olie.

Anorganische zuren
Het belangrijkste voordeel van anorganische zuren (of minerale zuren) is de hoge zuursterkte en de geconcentreerdheid. Ook zijn anorganische zuren relatief goedkoop. Een nadeel van anorganische zuren is de hoge reactiviteit. Dit vergt de nodige veiligheidsvoorzieningen. Hieronder worden de perspectieven van een aantal anorganische zuren toegelicht.

Salpeterzuur (HNO_3) is corrosief en oxiderend. Het is in verschillende sterktes beschikbaar. In het verleden is veel onderzoek gedaan aan stalsystemen waarbij aangezuurd werd met salpeterzuur (Van Lent, 1995[18]). Er kon een grote reductie in ammoniakemissie worden bereikt, zowel in de stal als met het bovengronds uitrijden van de mest. Dit systeem is om verschillende redenen destijds niet toegestaan door de overheid, onder andere omdat bij bovengronds uitrijden niet zichtbaar was of de mest aangezuurd was. Daarnaast leidt de toepassing van salpeterzuur tot extra denitrificatie en lachgasemissie vanuit de mestkelder en na toediening (Oenema en Velthof, 1993; Oenema et al., 1993; Velthof en Oenema, 1993[19]). Met salpeterzuur wordt stikstof toegediend. Deze extra hoeveelheid stikstof kan stikstofkunstmest vervangen, maar zou ook kunnen leiden tot snellere overschrijding van de stikstofgebruiksnormen.

Fosforzuur (H_2PO_4) is corrosief en kan worden toegepast om ammoniakemissie te beperken. Toepassen van fosforzuur vergroot het fosfaatoverschot op veebedrijven in Nederland. Ondernemers moeten nu al (hoge) kosten maken om het fosfaatoverschot af te zetten. Fosforzuur zal daarom niet gebruikt worden.

---

[15] Bussink D.W., A.M.D. Van Rotterdam-Los & W. Wenzl (2012). Potential of biologically acidifying cattle slurry to reduce NH_3-emissions, Report 1422.N.11 Nutrient Management Institute, Wageningen.

[16] D.W. Bussink, D.W., A.M.D. Van Rotterdam- Los , I. Vermeij, H.J.C van Dooren,. S. Bokma, G.J. Ouwerhand, H. van der Draai, W. Wenzl (2014). Reducing NH3 emissions from cattle slurry by (biological) acidification: experimental proof and practical feasibility. NMI report 1426.N.12 Wageningen. 54 p.

[17] Oenema O., G.L. Velthof & D.W. Bussink (1993) Emissions of ammonia, nitrous oxide and methane from cattle slurry. In: RS Oremland (ed.), Biogeochemistry of global change: radiatively active trace gases, Chapman & Hall, New York, 419-433.

[18] Lent, van A.J.H. (1995) Aanzuren van rundermest kort voor toedienen duurder dan zodebemesten. Praktijkonderzoek 95-6.

[19] Oenema O. & G.L. Velthof (1993) Denitrification in nitric-acid-treated cattle slurry during storage. Netherlands Journal of Agricultural Science 41, 63-80.
Velthof, G.L. and O. Oenema (1993) Nitrous oxide flux from nitric-acid-treated cattle slurry applied to grassland under semi-controlled conditions. Netherlands Journal of Agricultural Science 41: 81-93.

Zoutzuur (HCl) is sterk corrosief. Het tast metalen aan onder vorming van het brandbare waterstofgas (H_2). Bij het gebruik van zoutzuur kunnen chloordampen vrijkomen. Het is daarom niet geschikt om mest aan te zuren in kelders. Zoutzuur is mogelijk wel een optie indien aanzuren tijdens of kort voor het toedienen plaatsvindt en met name zeker indien blijkt dat er minder zuur nodig dan bij aanzuren in stallen. Bovendien is zoutzuur 7 keer goedkoper dan zwavelzuur (Starmans en Melse, 2011[20]). Gebruik van zoutzuur leidt tot hoge chloridegehalten in mest, dat mogelijk schadelijk kan zijn voor gewassen.

Starmans en Melse (2009) noemen in hun overzicht naar alternatieven voor zwavelzuur in luchtwassers nog diverse andere anorganische zuren, zoals, HF, HBr en perchloorzuur. Geen van allen is geschikt voor luchtwassers en ze zijn ook niet geschikt om te gebruiken in mest omdat ze veel te reactief zijn en ongewenste nevencomponenten bezitten zoals broom.

Organische zuren
Het voordeel van organische zuren, zoals barnsteenzuur, glutaarzuur, adipinezuur en citroenzuur is dat deze zuren veelal goed biologisch afbreekbaar zijn. Het zuur en de geconjugeerde base worden na toediening snel in de bodem omgezet door de daar aanwezige bacteriën. Een ander voordeel van organische zuren is de relatief zwakke zuursterkte. Hierdoor kunnen organische zuren waarschijnlijk met eenvoudigere systemen worden toegediend aan mest dan anorganische zuren.

Starmans en Melse (2011) concluderen dat van de organische zuren de barnsteenzuurderivaten, glutaarzuur, adipinezuur en citroenzuur overblijven als meest aantrekkelijke zuren om toegepast te worden als alternatief voor zwavelzuur in luchtwassers. Daarnaast zou bij gebruik in mest ook gedacht kunnen worden aan melkzuur, azijnzuur, maleïnezuur en oxaalzuur. Op basis van de hoge prijs vallen zuren als maleinezuur, glutaarzuur en adipinezuur af als alternatief voor zwavelzuur. Diverse andere organische zuren (Starmans en Melse, 2011) vallen af vanwege de geringe oplosbaarheid en/of ongewenste eigenschappen (irritatie, corrosie en geur). De organische zuren melkzuur, azijnzuur, oxaalzuur en citroenzuur blijven over als alternatief om mest aan te zuren in stal en opslag of om aan te zuren tijdens het uitrijden.

Biologisch aanzuren
Het biologisch aanzuren van mest is nog in onderzoek. Daarbij is het de bedoeling om mest te laten verzuren met behulp van micro-organismen. Dit kan door het toevoegen van een gemakkelijk afbreekbare koolstofbron (bijvoorbeeld melasse), het toevoegen van bacteriën en organische zuren (of een combinatie van beide) en het benutten van de organische koolstof die in de mest zelf zit. Een systeem waarbij de helft van de aanzuring via zwavelzuur tot stand komt en de helft via biologisch aanzuren lijkt perspectiefvol uit kosten oogpunt (Bussink et al., 2014). De uitdaging is om het proces verder te optimaliseren zodat uiteindelijk geen zwavelzuur meer nodig is, maar ook minder fermenteerbaar substraat behoeft te worden toegevoegd dan nu het geval. Dat behoort tot de mogelijkheden (Bussink et al., 2014).

Conclusies aanzuren
Als alternatief voor het aanzuren van mest in stallen met zwavelzuur komen de anorganische zuren zoutzuur, salpeterzuur en fosforzuur niet in aanmerking als vervanger voor zwavelzuur. Salpeterzuur en zoutzuur zouden mogelijk wel kunnen worden gebruikt bij het toedienen van mest. Salpeterzuur is echter 2-7 keer zo duur als zwavelzuur. Daar staat tegenover dat stikstof aangevoerd met salpeterzuur ingerekend mag worden als besparing op de kunstmest stikstofgift (ruwweg 3 euro per m^3). De nettoprijs van salpeterzuur benadert daarmee de brutoprijs van zwavelzuur. De lachgasemissie van met salpeterzuur aangezuurde mest is veel hoger dan onbehandelde mest. Zoutzuur is een factor 7 goedkoper dan zwavelzuur, maar zoutzuur is sterk corrosief (tast metalen aan) en gebruik van zoutzuur leidt tot hoge chloridegehalten in mest, dat mogelijk schadelijk kan zijn voor gewassen.

Van de organische zuren zijn melkzuur, azijnzuur en citroenzuur en oxaalzuur het meest interessant. Van belang is dat zuren in een hoge concentratie kunnen worden toegediend, bij voorkeur als vloeistof. Citroenzuur en oxaalzuur moeten eerst opgelost worden in water. Daardoor is er een groot volume nodig (Bij 25 m^3 mest ha^{-1} vergt dan ruim 2 m^3 oxaalzuuroplossing). Dat maakt deze stoffen minder interessant, ondanks het feit dat oxaalzuur relatief goedkoop is in vergelijking tot de andere organische zuren. Van azijnzuur en melkzuur is een minder groot volume

---

[20] Starmans, D.A.J. en R.W. Melse (2011) Alternatieven voor zwavelzuur in chemische luchtwassers. WUR, Livestock Research, Rapport 385.

nodig, maar de kostprijs van deze zuren is het 10- tot-15-voudige van zwavelzuur. Bij de prijs is van deze producten is uitgegaan van zuiver zuur. Bekend is dat er voor azijnzuur allerlei reststromen op de markt zijn die een lagere prijsstelling hebben.

Anorganische zuren en organische zuren komen als afval- of reststof vrij bij diverse processen in chemische industrie en voedingsindustrie. Hergebruik van deze reststoffen bij reductie van ammoniakemissie in de stal of aanwending van dierlijke mest is denkbaar, omdat de kosten lager zullen zijn dat eerder genoemde zuren met een technisch-chemische kwaliteit. Een hergebruik van deze afval- of restzuren vraagt dan een toetsing op milieubezwaarlijkheid op nevenbestanddelen.

Biologisch aanzuren is nog in ontwikkeling.

Andere opties dan aanzuren om de ammoniakemissie te verlagen

Ammoniakemissie kan worden beperkt door middel van structurele maatregelen (bijvoorbeeld reductie van de omvang van de veestapel), managementmaatregelen (voeding van rundvee, pluimvee en varkens en bemesting) en technische maatregelen (stalaanpassingen en maatregelen met betrekking tot mesttoediening, aanzuren). In dit advies wordt uitgegaan van bestaande veehouderijsystemen en wordt alleen in gegaan op management en andere technische maatregelen dan aanzuren.

Voeding
De hoeveelheid stikstof die wordt uitgescheiden door het dier en dan met name de hoeveelheid ammoniakale stikstof (TAN) bepaalt in sterke mate het risico op ammoniakemissie. Door de veevoeding verder te verfijnen (zoals minder eiwit in het voer, toevoeging van specifieke aminozuren en het toevoegen benzoëzuur bij varkens) is een daling van de ammoniakemissie uit stal en opslag mogelijk[21]. Op dit moment is een haalbaarheidsstudie in uitvoering naar de mogelijkheden van een aangepaste voeding bij melkvee in het kader van SBIR[22].

Stalaanpassingen
Er zijn diverse typen stallen met emissiearme vloeren, waarbij de ammoniakemissie uit de stal met 15% of meer wordt gereduceerd. Er komen regelmatig nieuwe stalvloertypen bij. Inmiddels zijn er ongeveer 20 systemen van emissiearmere vloeren/stallen. Deze staan vermeld in de RAV-lijst. Met enige regelmaat worden nieuwe systemen voorgedragen voor erkenning.

De extra jaarkosten van een investering in een nieuwe emissiearme melkveestal ten opzichte van een gangbare stal bedragen, bij een gelijke stalgrootte zijn 3 tot 7 procent, afhankelijk van type emissiearme stalvloer (De Koeier et al., 2013[23]). Omgerekend naar kosten per kg ammoniakbesparing komt dit overeen met 7-12 Euro per kg ammoniakemissiereductie. Bij nieuwbouw en stalvergroting zijn de meerkosten lager.

Er zijn nog een aantal andere opties mogelijk voor emissiebeperking in stallen (Aarnink et al., 2010[24]; Dooren en Smits, 2007[25];), zoals een snelle afvoer van mest (geen mestopslag in de stal), verdunnen van mest met water en beperking van de ureaseactiviteit. Bij nieuwbouw van stallen kan met dichte vloeren worden gewerkt waarbij de mest uit de stal wordt verwijderd en buiten de stal wordt opgeslagen. Urine en mest kunnen separaat worden opgeslagen. Vanaf een bepaalde bedrijfsomvang (ca. 100 koeien) en afhankelijk van de draagkracht van de grond is het goedkoper om mestopslag buiten de stal te bouwen in plaats van onder de stal. Luchtwassers in melkveestallen zijn in opkomst[26]. De investeringen zijn echter hoog en het is nog niet duidelijk

[21] http://www.proeftuinnatura2000.nl/verzilverde-maatregelen

[22] http://www.rvo.nl/subsidies-regelingen/voer-en-managementmaatregelen-projecten-fase-1

[23] Koeijer, T. de, H. van der Veen, P.W. Blokland, A. van den Ham, G. Kruseman en I. Vermeij (2013) Investeringseffecten van verplichte emissiearme stalvloer in de melkveehouderij. Wageningen, LEI Wageningen UR, LEI Report 2013-055. 40 blz.

[24] Aarnink, A.J.A., M.C.J. Smits, I. Vermeij (2010) Reductie van ammoniakemissie op vleesvarkensbedrijven via gecombineerde maatregelen. Rapport 366. Wageningen UR Livestock Research.

[25] Dooren H.J.C. en M.J.C. Smits (2007). Reductieopties voor ammoniak- en methaanemissie uit huisvesting voor melkvee. Animal Science Group Wageningen UR Rapport 80

[26] http://www.melkvee.nl/nieuws/5154/meer-luchtwassers-in-melkveestallen

hoeveel reductie van ammoniakemissie dit oplevert. Er worden verkenningen uitgevoerd met gebruik van ureaseremmers in het kader van Proeftuin Natura 2000.

Toedieningstechnieken van mest.
Op dit moment wordt gewerkt aan het verminderen van de emissie van bestaande (emissiearme) technieken. Maatregelen zijn het aanzuren van mest tijdens uitrijden met sleepvoeten of zodebemester, maar ook sproeien van zuur of koolzaadolie direct volgend op de mesttoediening. Bij toepassing van koolzaadolie is de gedachte dat de meststrook geseald wordt zodat er veel minder emissie optreedt. Ook mest en water toedienen in één werkgang, waarbij eerst mest wordt toegediend gevolgd door een watergift over de mest, wordt getest evenals het verdund toedienen van mest. Eerste resultaten geven aan dat 1:1 verdunning een 40% emissiereductie kan geven ten opzichte van onverdunde mest toegediend met de sleepvoetenmachine[27]. Pulsinjectie is een vorm van diepe injectie. Er lopen er ook diverse haalbaarheidsonderzoeken naar aangepaste toedieningstechnieken[28].

Op dit moment zijn er dus geen nieuwe emissiearme technieken bij mesttoediening operationeel. Van de technieken waarvan de haalbaarheid wordt onderzocht is de verwachting dat de reductie van ammoniakemissie die gerealiseerd kan worden, lager is dan de reductie die kan worden verkregen met aanzuren van mest.

4b. Alternatieven voor de inzet van gips om de bodemstructuur te verbeteren

Algemeen

In sommige kleigronden in de Flevopolders is de bodemstructuur verslechterd, onder andere door een hoog aandeel hakvruchten in de rotatie (intensieve bodembewerking en weinig gewasresten en daardoor lage aanvoer van organische stof). Maatregelen die ingrijpen op bouwplan (zoals sturing op het gewassen in de rotatie) en bodembeheer (zoals het voorkomen van oogsten onder te natte bodemomstandigheden, wieldruk tractor) kunnen een verslechtering in bodemstructuur tegengaan.

De kleigronden in de Flevopolders bevatten relatief weinig gemakkelijk beschikbaar calcium om een goed uitvlokgedrag van klei te realiseren. Gips ($CaSO_4$) wordt ingezet om meer gemakkelijk beschikbaar calcium en verbetering van de bodemstructuur te verkrijgen. Het effect van gipsbemesting is veelal kortdurend (enkele jaren). Met de gips wordt gemakkelijk beschikbaar calcium aangevoerd zonder dat het invloed heeft op de pH. De calciumbezetting van klei neemt daarmee toe en daardoor ook het kitgedrag. De klei vlokt veel beter uit. De grond wordt zo beter bewerkbaar en verkrijgt een mooiere structuur. Met gips worden echter grote hoeveelheden zwavel aangevoerd. Alternatieven om de bodemstructuur via meer gemakkelijk beschikbaar calcium te verbeteren (op klei) zonder daarbij grote hoeveelheden zwavel aan te voeren zijn

- Bekalken;
- Meststoffen gebruiken met als nevenbestanddeel kalk;
- Gebruik van verzurende meststoffen en gewassen; en
- Overige, zoals gewassen in de rotatie, groenbemesting en bodembeheer.

Kalkmeststoffen
Er zijn veel kalkmeststoffen op de markt. Van de kalkmeststoffen staat brandkalk bekend om zijn snelle werking waarbij gemakkelijk beschikbaar calcium beschikbaar komt. Brandkalk heeft op lichte en zware kleigronden van alle kalken de beste structuurwerking (DLG-Merkblatt 353). Op deze bodems dient brandkalk bij voorkeur als onderhoudsbekalking te worden toegepast. Brandkalk (CaO) heeft net als andere kalkmeststoffen een pH-verhogende werking. Brandkalk is een dure kalkmeststof die per ton 2- tot 3 keer zoveel kost dan de in Nederland gangbare landbouwkalken (op basis van $CaCO_3$).

Het toepassen van landbouwkalk zal een beperkter effect hebben op de bodemstructuur dan brandkalk, zeker op gronden met een hoge pH zoals in de Flevopolders. De kalk lost langzamer op

[27] https://www.verantwoordeveehouderij.nl/show/Verdunde-mest-aangewend-met-sleepvoetenmachine-reduceert-ammoniakemissie.htm
[28] http://www.rvo.nl/subsidies-regelingen/uitrijden-van-mest-projecten-fase-1

bij een hoge pH. Op termijn zal landbouwkalk zeker een bijdrage leveren aan een betere bodemstructuur als gevolg van een beter uitvlokgedrag van de klei.

Een andere optie is de inzet van schuimaarde. Het is een restmeststof uit de suikerbietenindustrie. Schuimaarde bevat ook veel gemakkelijk beschikbaar calcium. Daarnaast bevat het nog andere elementen waaronder fosfaat (8 kg P_2O_5 per ton). De aanwezigheid van fosfaat in schuimaarde beperkt de mogelijkheden om dierlijke mest te gebruiken.

Meststoffen gebruiken met als nevenbestanddeel calcium
Kalksalpeter is de stikstofmeststof met het hoogste aandeel calcium (170 kg CaO per 100 kg. Deze meststof wordt nauwelijks gebruikt vanwege zijn hoge prijs en risico op nitraatuitspoeling.

De meest gangbare stikstofmeststof kalkammonsalpeter (KAS) bevat als nevenbestanddeel kalk of dolomiet. Bij het gebruik van KAS kan men overwegen vooral meststoffen op kalkbasis in plaats van op dolomietbasis te gebruiken. Magnesium heeft namelijk een veel minder goed uitvlokkende werking dan calcium. Per 100 kg KAS wordt tot zo’n 44 kg CaO gegeven.

Sinds een tiental jaren is KAS met zwavel op de markt. Per 100 kg N wordt hiermee zo’n 25 kg S (als gips) en zo’n 90 kg CaO gegeven.

Pas op langere termijn kunnen deze meststoffen mogelijk enig effect geven op de bodemstructuur. Praktisch gezien heeft de inzet van stikstofmeststoffen met een hoger aandeel calcium een geringe betekenis als het wordt afgezet tegen de calciumaanvoer met gips. Eerst dient de structuur op orde worden gebracht met bijvoorbeeld brandkalk, daarna kan met inzet van deze meststoffen de structuur mogelijk (deels) op orde worden gehouden.

Gebruik van verzurende meststoffen en gewassen
Bij kalkrijke zeekleigronden (> 3% koolzure kalk) zoals in de Flevopolders is er veel calcium aanwezig in zeeschelpresten. Door verzurende meststoffen te gebruiken kan de verwering versneld worden en kan calcium vrijkomen. De verzurende werking wordt in de bodem namelijk gebufferd door het in oplossing gaan van kalkresten. De buffering zorgt ervoor dat de pH van de bodem niet omlaag gaat.

Meststoffen met een hoog aandeel ammonium hebben een verzurende werking. Een nadeel van het gebruik van ammoniumhoudende meststoffen om verzuring te bevorderen is dat ze vaak ook zwavel bevatten (zwavelzure ammoniak) en dat toediening van ammoniumhoudende meststoffen op een kalkrijke grond (ureum, zwavelzure ammoniak) leidt tot een groter risico op ammoniakvervluchtiging.

Vlinderbloemigen (klavers, luzerne, peulvruchten) hebben ook een verzurende werking, indien hun stikstofbehoefte via luchtstikstofbinding wordt gedekt (en niet door aanvoer van mest en kunstmest). Door een aantal seizoenen achtereen vlinderbloemigen te telen op kalkrijke kleigronden wordt de verwering van zeeschelpresten naar verwachting ook versterkt.

Overige maatregelen
Aandacht voor voldoende organisch stof aanvoer, het telen van groenbemesters en een ruime gewasrotatie zijn algemene maatregelen om de bodemstructuur te verbeteren of op orde te houden. Deze horen bij het reguliere beheer van een agrariër.

Een ander belangrijk aandachtspunt is het tijdstip van grondbewerking en het oogsten van gewassen. Niet eerder beginnen met grondbewerking dan dat de grond er geschikt voor is en tijdig gewassen als aardappelen en suikerbieten oogsten zijn belangrijke maatregelen om de structuur op orde te houden en te vermijden dat er problemen ontstaan. Praktisch gezien zou dat betekenen dat alle gewassen voor 1 oktober (liefst nog eerder) zijn geoogst. Dit is moeilijk realiseerbaar is om reden van logistiek en verwerkingscapaciteit.

Een andere maatregel is het opvolgen van de bemestingsadviezen met betrekking tot bekalking en het gebruik van magnesium en kaliumhoudende meststoffen. Een te hoog gebruik van kalium en magnesium leidt tot extra verdringing van calcium van het adsorptiecomplex. Magnesium heeft

bijvoorbeeld een veel minder goed uitvlokkende werking dan voorheen werd aangenomen (Dontsova et al., 2002)[29].

Conclusie

Als alternatief voor gips komt vooral de inzet van brandkalk naar voren. Brandkalk is veel duurder dan gips. Landbouwkalk en of schuimaarde zijn minder snel werkend alternatieven. De strategie van de agrariër zou moeten zijn om de structuur op orde te houden door goed bodembeheer inclusief een verantwoorde op de bodemstructuur afgestemde gewasrotatie. Een verslechterde bodemstructuur kan gecorrigeerd worden (voor zover dit calcium gerelateerd) met bijvoorbeeld brandkalk. Is die eenmaal op orde dan is het zaak om deze op orde te houden. Dit vraagt aandacht in diverse facetten van de bedrijfsvoering. Bij de reguliere bemesting kan de aandacht liggen om meststoffen calcium als nevenbestanddeel te gebruiken. Het vergt aandacht voor de gewasrotatie, de inzet van organische meststoffen en aandacht voor wanneer grond bewerkt wordt en wanneer gewassen geoogst worden waarbij ongunstige omstandigheden dienen te worden vermeden.

Tabel 3. Overzicht van de kosten per zuur en per aangezuurde m^3 mest en de effectiviteit van het zuur, uitgedrukt in de berekende hoeveelheid zuur nodig om 1 m^3 mest aan te zuren. Uitgangspunt bij deze berekening is de experimenteel vastgestelde hoeveelheid zwavelzuur (Bussink et al., 2013) die nodig is om mest met een gemiddelde N-gehalte van 4,1 kg/ton aan te zuren tot pH 5,5 bij 10 °C.

Zuur	Fase	Prijs (€/ton)	Bron	Conc (mol/L)	Protonen pKa<6	Aanzuren mest Zuur nodig (L/m^3 mest)	Kosten (€/m^3)
Zwavelzuur	Vloeistof	€ 175	Alibaba	18	2	5.6	€ 1,80
		€ 100	Bussink*				€ 1,03
		€ 262	Starmans**				€ 2,69
Zoutzuur	Vloeistof	€ 200	Alibaba	12	1	17	€ 3,96
		€ 120	Starmans**				€ 2,38
Salpeterzuur	Vloeistof	€ 375	Alibaba	16	1	13	€ 7,15
Oxaalzuur	Vast, matig oplosbaar (102 g/l)	€ 850	Alibaba	1,1	2	89	€ 7,71
		€ 475	Starmans**				€ 4,31
Fosforzuur	Vast, Zeer goed oplosbaar (5480 g/l)	€ 900	Alibaba	56	1	4	€ 17,78
Citroenzuur	Vast, Redelijk oplosbaar (674 g/l)	€ 900	Alibaba	3,5	2	29	€ 17,42
		€ 693	Starmans**				€ 13,42
Melkzuur	Vloeistof	€ 1200	Alibaba	17,4	1	12	€ 16,81
		€ 857	Starmans**				€ 12,00
Azijnzuur	Vloeistof	€ 600	Alibaba	11,5	1	18	€ 11,04
Maleinezuur		€1733	Starmans**				
Glutaarzuur		€8300	Starmans**				

* Bussink et al., 2013

** Starmans en Melse 2011

Azijnzuur: Azijnzuur ook wel ethaanzuur genoemd is een zwak zuur. De pKa waarde bedraagt ongeveer 4,7. Azijnzuur is corrosief. Naast in zuivere vorm zijn er ook allerlei “restpartijen”.

Melkzuur: Melkzuur is een matig sterk zuur met dat 1 proton kan afsplitsen en een pKa van 3,85 heeft. In zuivere vorm is melkzuur een dikke, stroperige vloeistof. Hierdoor is het lastiger in het gebruik. Melkzuur reageert corrosief en is brandbaar. Het lost goed op in water.

Citroenzuur: Citroenzuur is een matig sterk zuur dat in principe 3 protonen kan afsplitsen en waarvan de eerste 2 afsplitsingen benut kunnen worden bij aanzuren tot pH=5,5. De eerste afsplitsing is relatief sterk, pKa=3,15. De tweede is met een pKa van 4,77 duidelijker zwakker. Zuiver citroenzuur is een vaste stof. Het is goed oplosbaar in water (576-771 g/l).

Oxaalzuur: Oxaalzuur heeft een redelijk hoge zuursterkte dat 2 protonen kan afsplitsen. De eerste afsplitsing is relatief sterk, pKa=1,27. De tweede is met een pKa van 4,27 duidelijker zwakker. Oxaalzuur is vast onder opslagcondities. Het reageert heftig met oxidatiemiddelen met kans op brand een explosie. Verspreiding via stof dient te worden voorkomen. De oplosbaarheid is te beperkt om ingezet te worden bij het aanzuren van mest.

[29] Dontsova, K.M. and L.D. Norton (2002) Clay dispersion, infiltration and erosion as influenced by exchangeable Ca and Mg. Soil Science 167:184-193.

Annex 1. Overzichtstabel gemiddelde en mediane sulfaatconcentraties in grond- en oppervlaktewater 2008-2011 (Fraters en De Goffau, 2014)

Tabel 1. Gemiddelde sulfaatconcentratie en standaard fout (mg/l als SO_4) in de periode 2008-2011 bij landbouw en natuur per watertype, periode, locatie en regio.

Watertype	Periode	Locatie	Zand		Löss		Klei		Veen	
			Landbouw	Natuur	Landbouw	Natuur	Landbouw	Natuur	Landbouw	Natuur
Grondwater	Jaar	uitspoeling	49 ± 1	37 ± 3	40 ± 3	-	154 ± 8	-	178 ± 12	-
		ondiep	53 ± 2	34 ± 2	82 ± 5 [1,2]		94 ± 20	34 ± 9	17 ± 4	1 ± 1 [2]
		diep	62 ± 7	55 ±15	33 ± 5 [1,2]		168 ± 55	118 ± 63	15 ± 6	1 ± 1 [2]
Oppervlakte-water	Winter	Sloot	50 ± 2	-	-	-	134 ± 7	-	104 ± 8	-
		MNLSO	74 ± 6	-	-	-	164 ± 17	-	96 ± 10	-
		Overig[1]	57 ± 1		70 ± 12		126 ± 3		76 ± 1	
	Zomer	Sloot	42 ± 2	-	-	-	94 ± 6	-	53 ± 4	-
		MNLSO	63 ± 5	-	-	-	138 ± 19	-	64 ± 6	-
		Overig[1]	55 ±1		98 ± 19		117 ± 3		63 ± 1	

[1] Alle landgebruikstypen.
[2] Alle meetjaren.

Tabel 2 Mediane sulfaatconcentratie (50-percentiel) (mg/l als SO_4) in de periode 2008-2011 bij landbouw en natuur per watertype, periode, locatie en regio.

Watertype	Periode	Locatie	Zand		Löss		Klei		Veen	
			Landbouw	Natuur	Landbouw	Natuur	Landbouw	Natuur	Landbouw	Natuur
Grondwater	Jaar	uitspoeling	44		29	-	100	-	138	-
		ondiep	41	29	59 [1,2]		32	24	1	-
		diep	29	32	25 [1,2]		14	31	1	-
Oppervlakte-water	Winter	Sloot	43	-	-	-	88	-	75	-
		MNLSO	62	-	-	-	92	-	85	-
		Overig[1]	51		48		72		67	
	Zomer	Sloot	31	-	-	-	56	-	41	-
		MNLSO	54	-	-	-	68	-	59	-
		Overig[1]	50		54		62		55	

[1] Alle landgebruikstypen.

[2] Alle meetjaren.